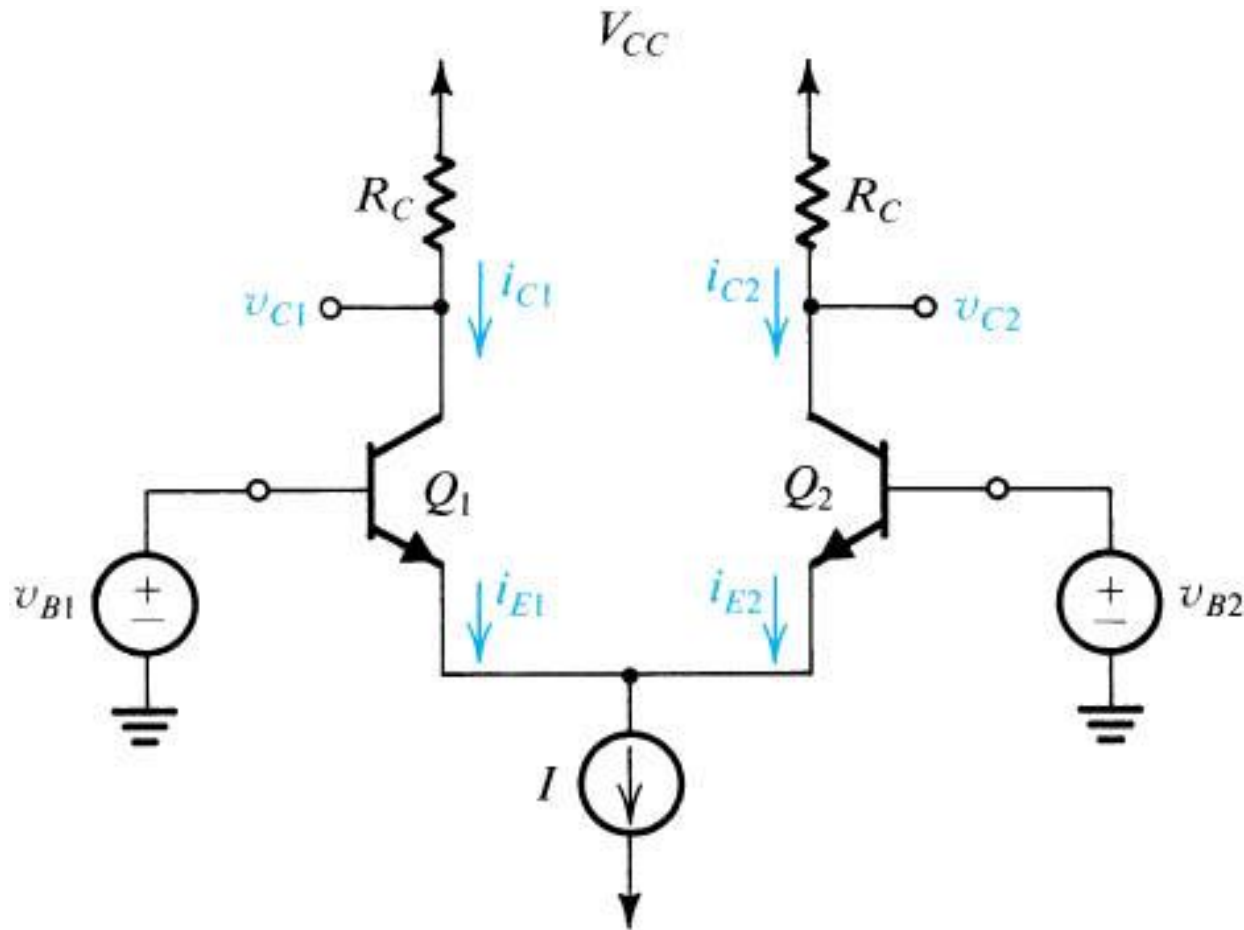


Amplificadores Diferenciais

- ✓ Sinal Diferencial x Sinal único
- ✓ Par Diferencial MOS
- ✓ Par Diferencial com carga ativa
- ✓ Par Diferencial BJT

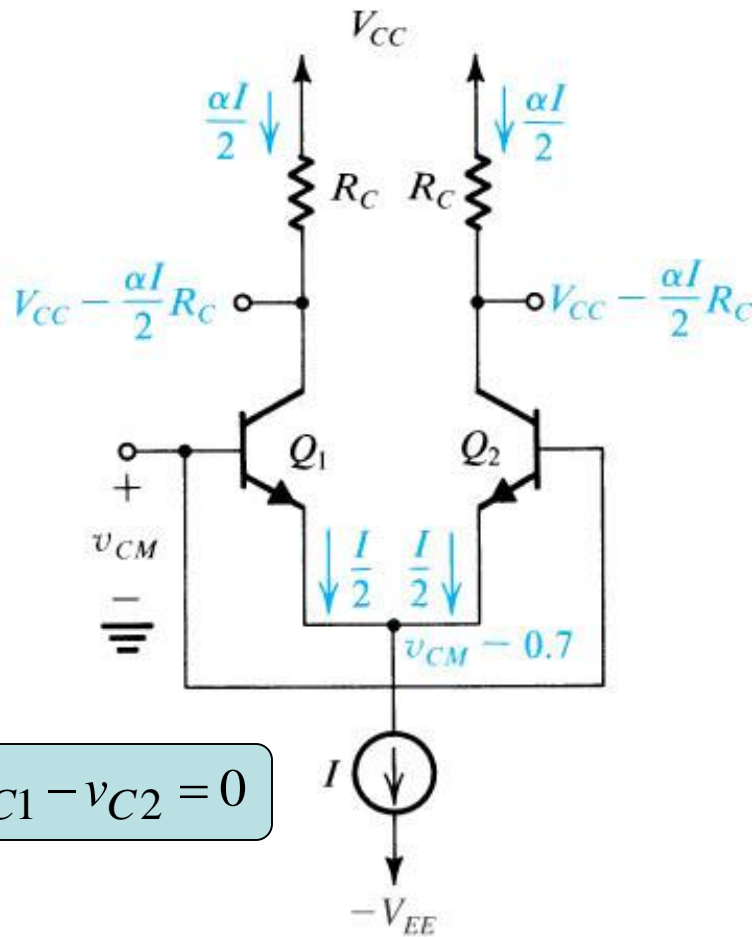
Amplificadores Diferenciais

Par diferencial TBJ básico

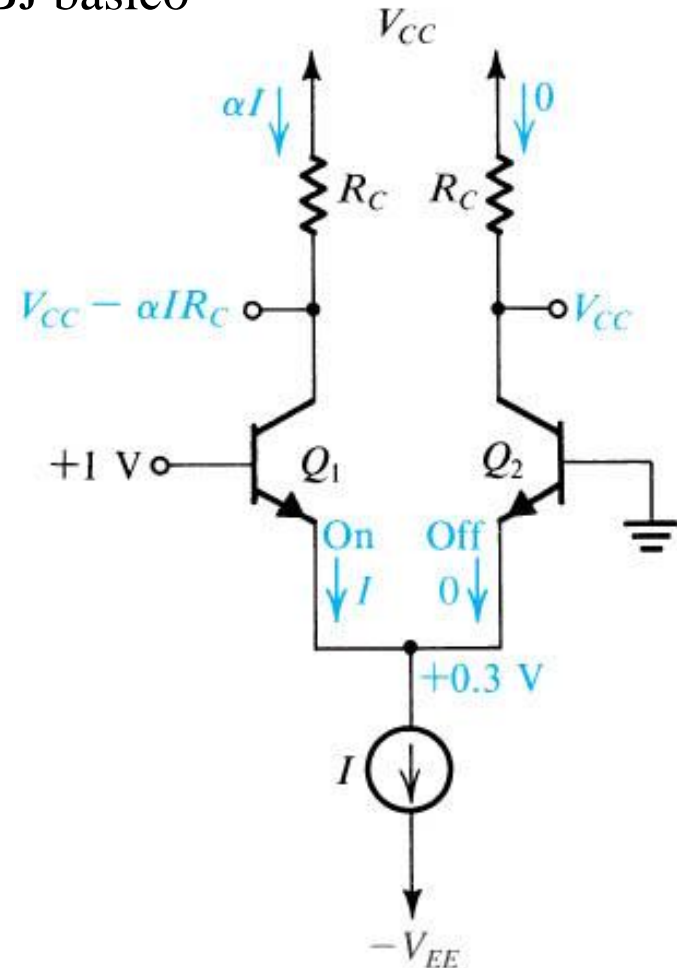


Amplificadores Diferenciais

Par diferencial TBJ básico



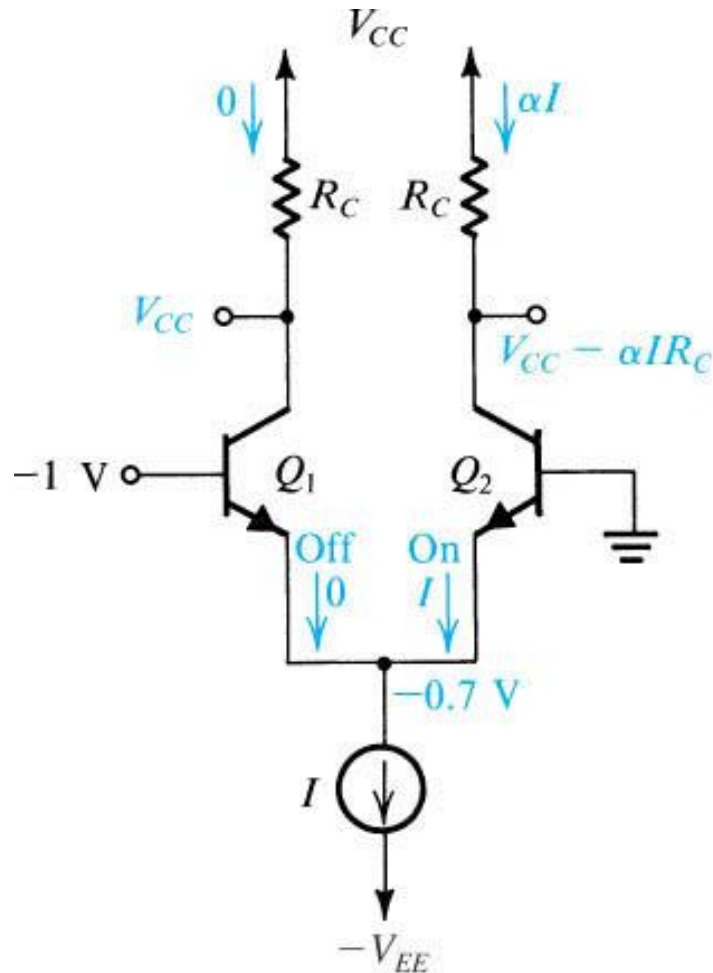
Operação em Modo Comum



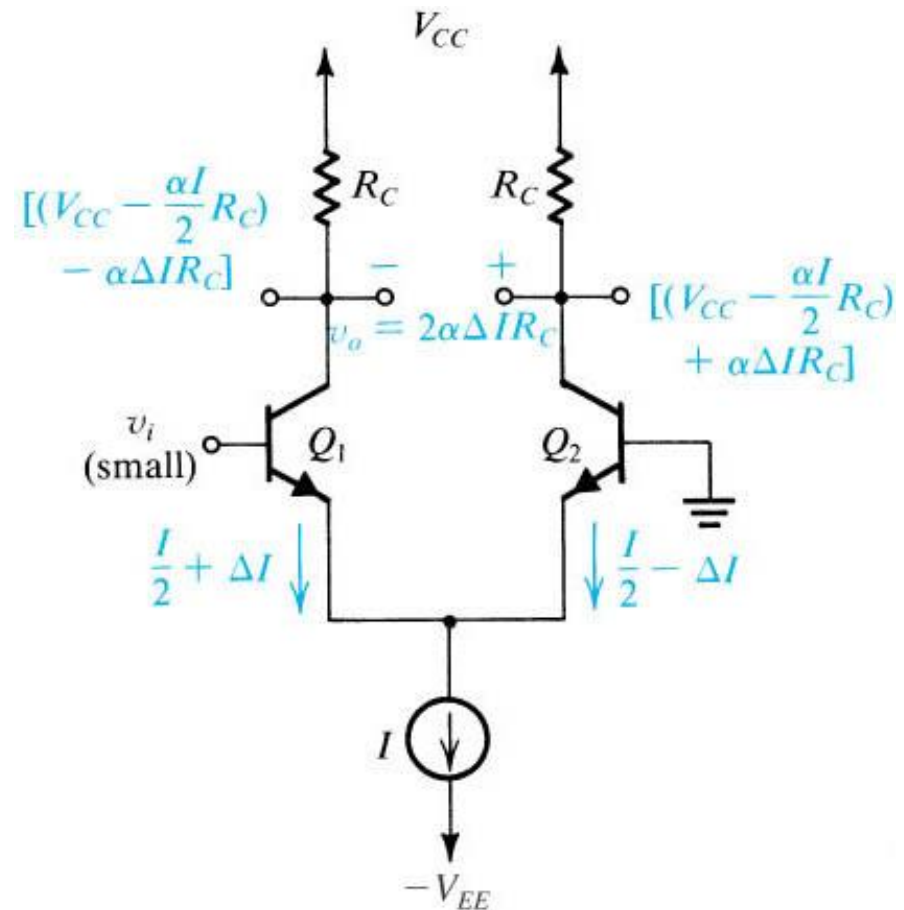
Operação em Modo Diferencial

Amplificadores Diferenciais

Par diferencial TBJ básico



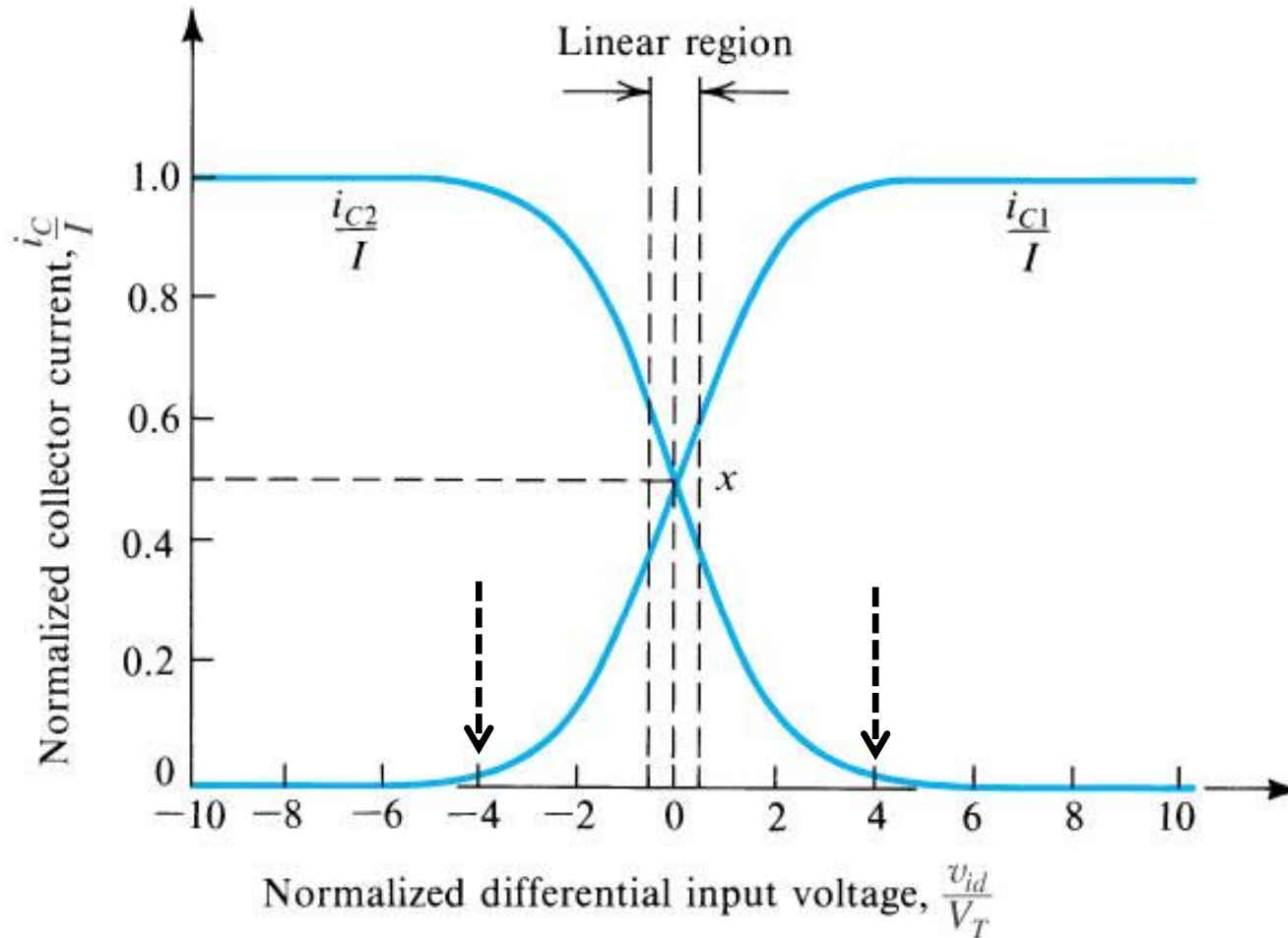
Operação em Modo Diferencial



Operação em Modo Diferencial

Amplificadores Diferenciais

Variação das correntes de coletor devido a tensão diferencial de entrada

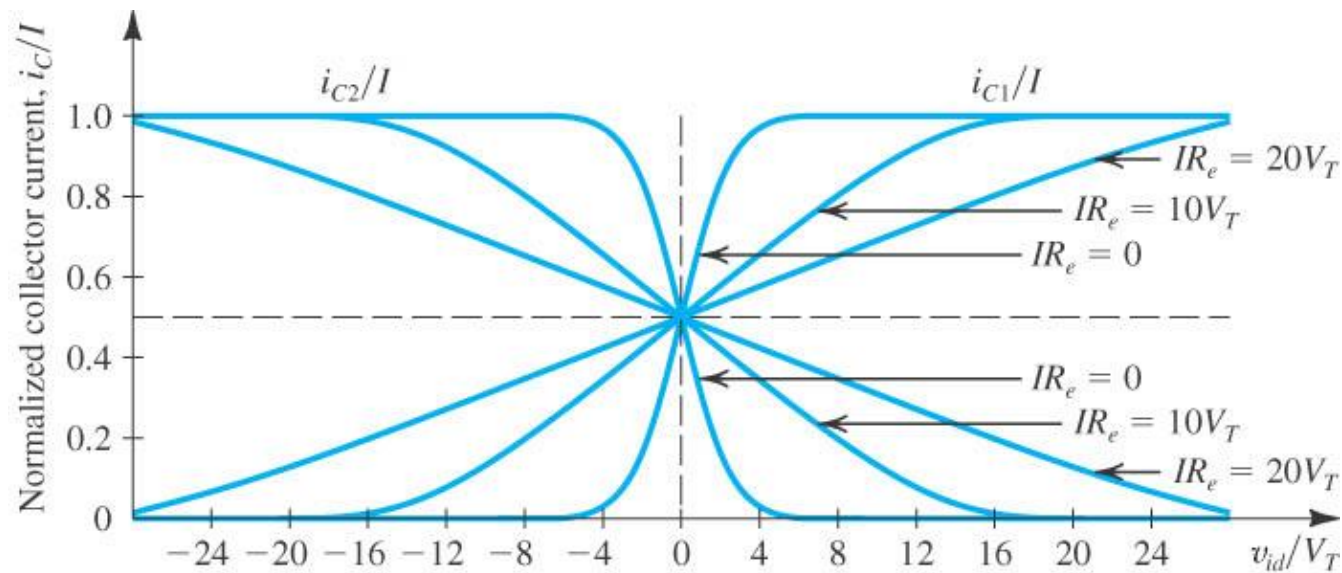
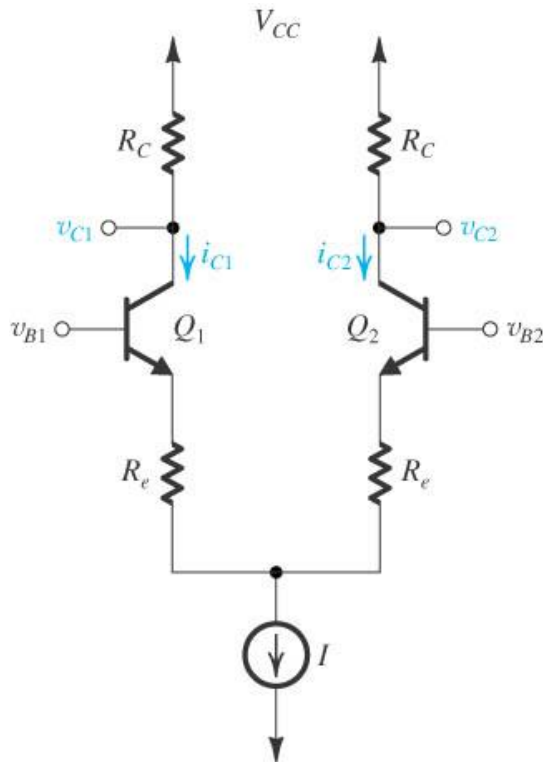


Quando v_{id} aprox. $4V_T$, praticamente toda corrente migra para um dos lados do par.

“chaveamento de corrente”

Amplificadores Diferenciais

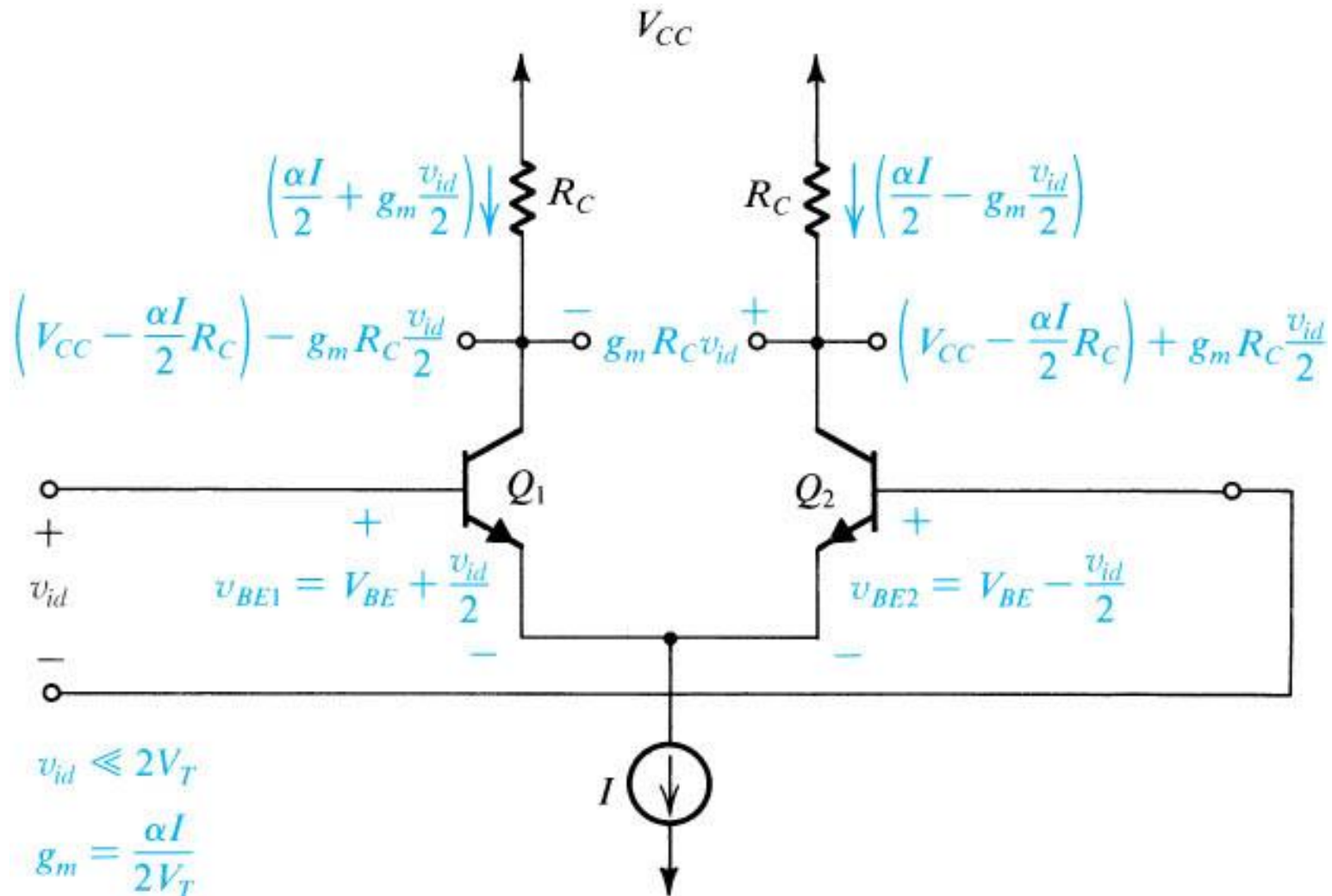
Variação das correntes de coletor devido a tensão diferencial de entrada
 Acrescentando R_e – degeneração de emissor



Aumento na faixa linear, redução de g_m .

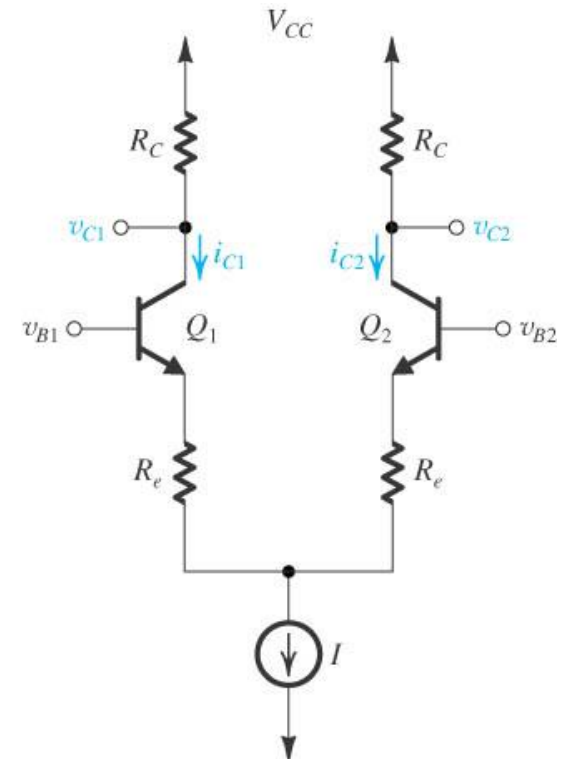
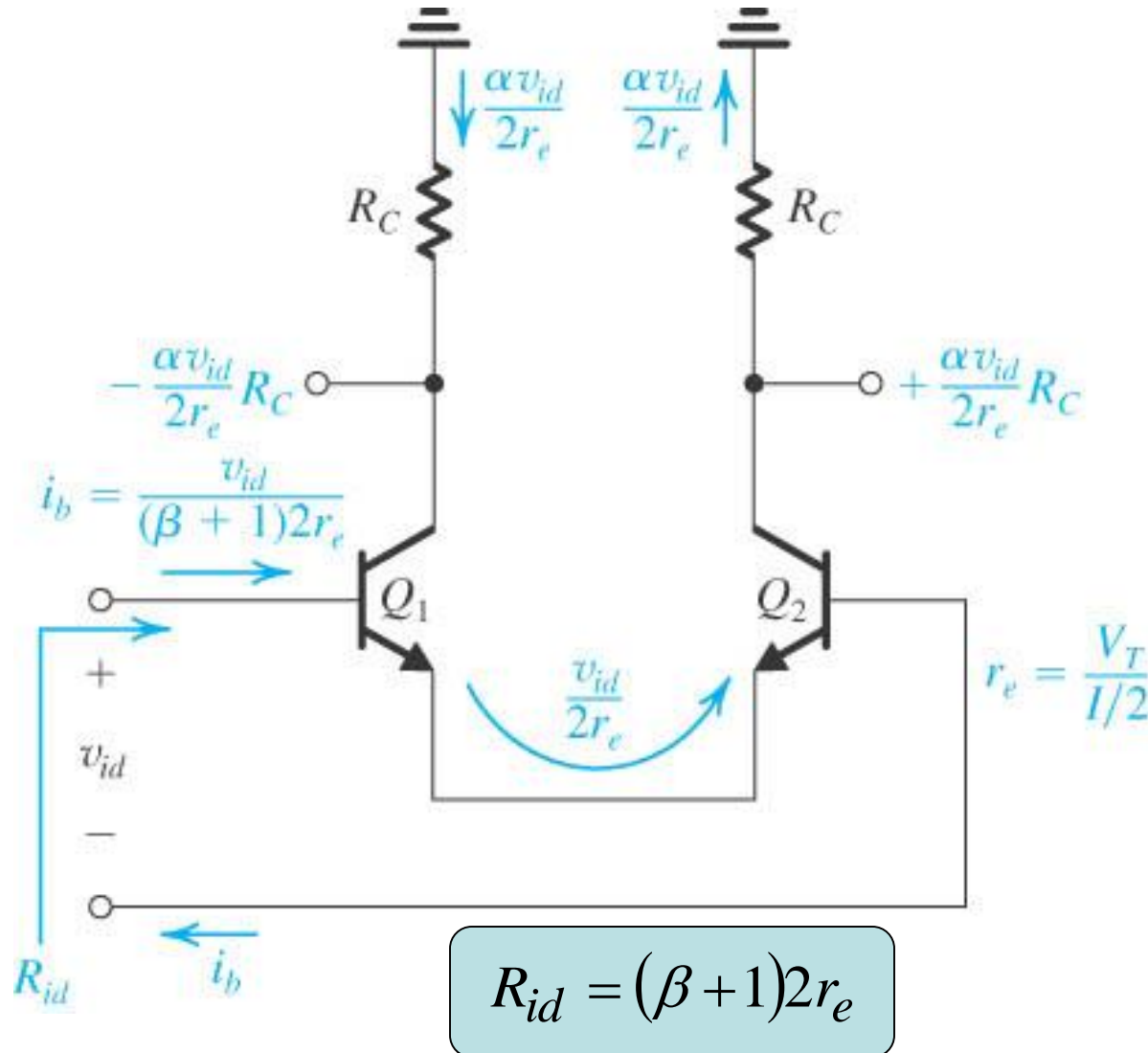
Amplificadores Diferenciais

Análise de pequenos sinais



Amplificadores Diferenciais

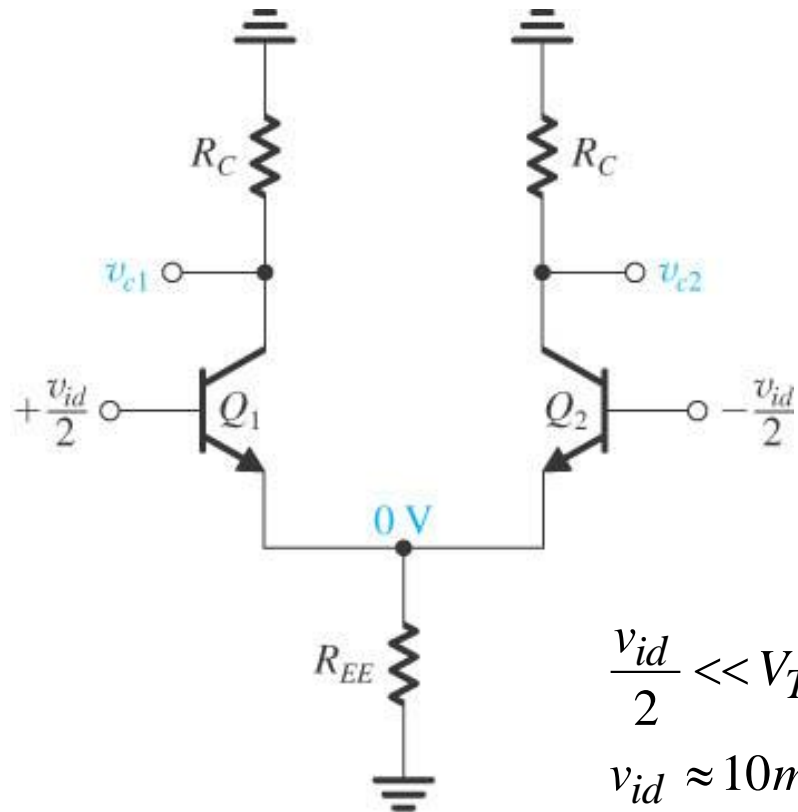
Impedância de entrada diferencial



$$R_{id} = (\beta + 1)(2r_e + 2R_e)$$

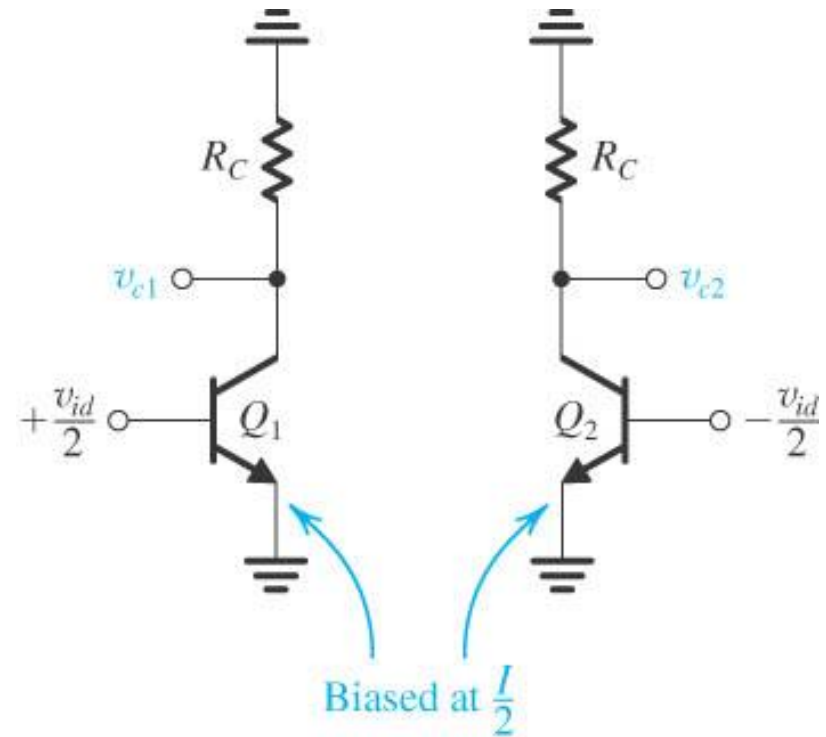
Amplificadores Diferenciais

Análise de pequenos sinais



$$\frac{v_{id}}{2} \ll V_T$$

$$v_{id} \approx 10\text{mV}$$



“meio circuito diferencial”

Amplificadores Diferenciais

Análise de pequenos sinais

Saída sinal único

$$\frac{v_{c1}}{v_{id}} = -\frac{1}{2} g_m R_C$$

$$\frac{v_{c2}}{v_{id}} = +\frac{1}{2} g_m R_C$$

Saída sinal diferencial

$$A_d \equiv \frac{v_{c2} - v_{c1}}{v_{id}} = g_m R_C$$

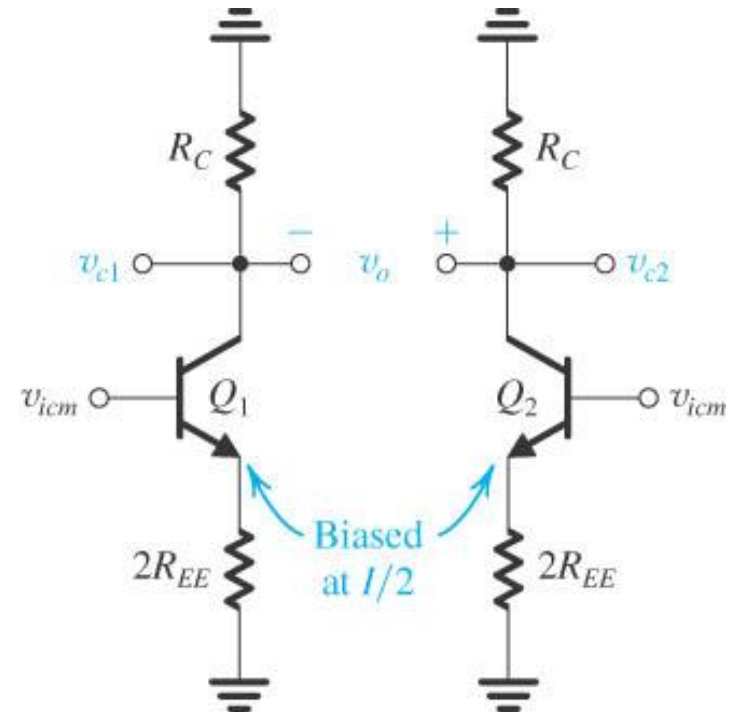
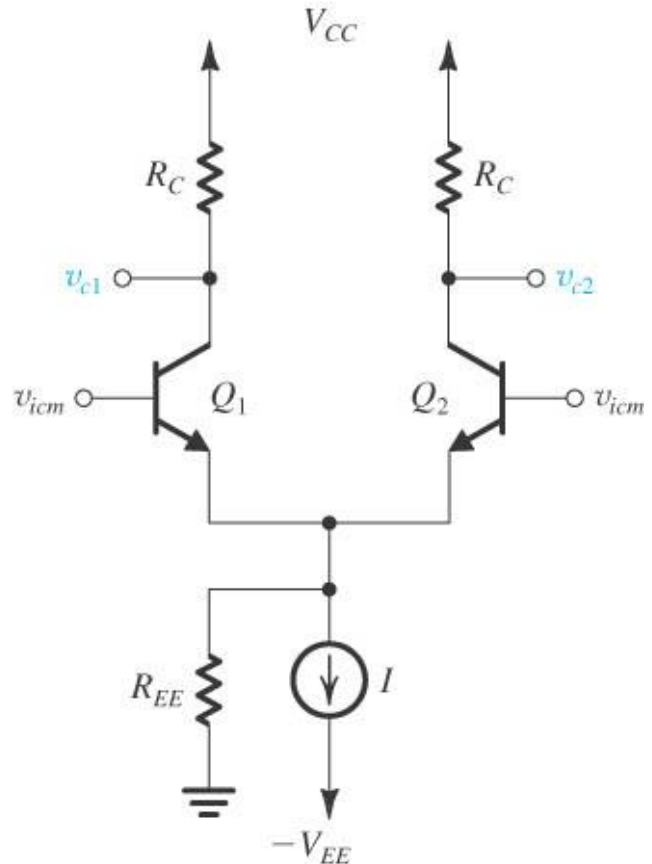
Com resistência no emissor

Saída sinal diferencial

$$A_d \equiv \frac{v_{c2} - v_{c1}}{v_{id}} = \frac{\alpha(2R_C)}{2r_e + 2R_e} \cong \frac{R_C}{r_e + R_e}$$

Amplificadores Diferenciais

Razão de Rejeição de Modo Comum (CMRR)



v_{icm} = sinal de interferência de modo comum

Amplificadores Diferenciais

Razão de Rejeição de Modo Comum (CMRR)

Saída sinal único

$$|A_{cm}| = \frac{\alpha R_C}{2R_{EE}} \quad |A_{du}| = 1/2 g_m R_C$$

$$CMRR_u \equiv \left| \frac{A_d}{A_{cm}} \right| \cong g_m R_{EE}$$

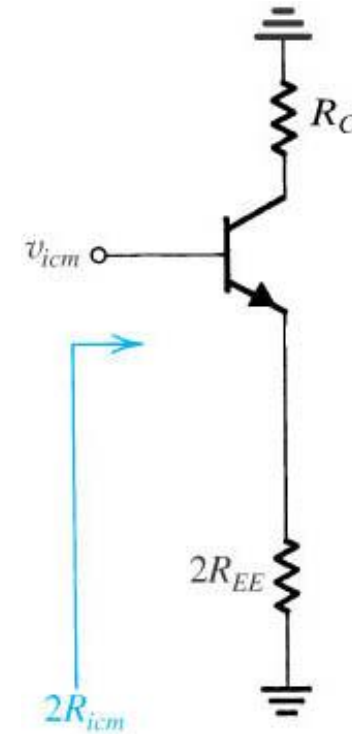
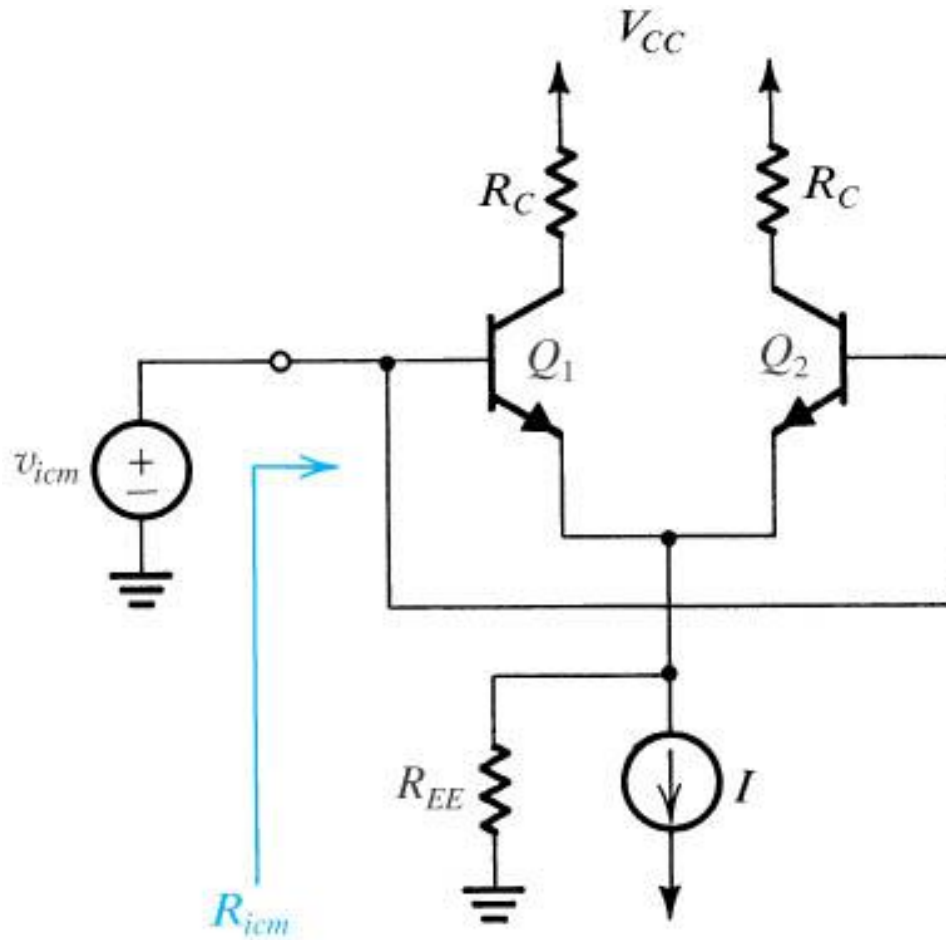
Saída sinal diferencial

$$|A_{cm}| = \frac{v_{c2} - v_{c1}}{v_{icm}} = 0 \quad |A_d| = \frac{v_{c2} - v_{c1}}{v_{id}} = g_m R_C$$

$$CMRR_d \equiv \left| \frac{A_d}{A_{cm}} \right| = \infty$$

Amplificadores Diferenciais

Impedância de entrada de modo comum



$$R_{icm} = (\beta + 1) \left(R_{EE} \parallel \frac{r_o}{2} \right)$$

Amplificadores Diferenciais

Tensão e corrente de *offset* do Par Diferencial

Fatores que contribuem na tensão de *offset* em um par diferencial TBJ

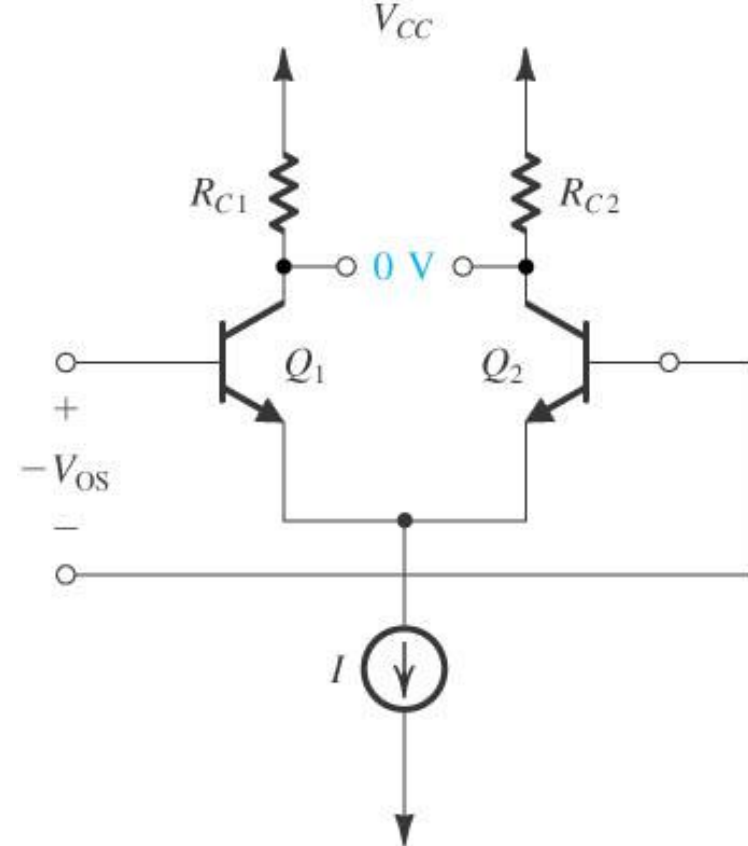
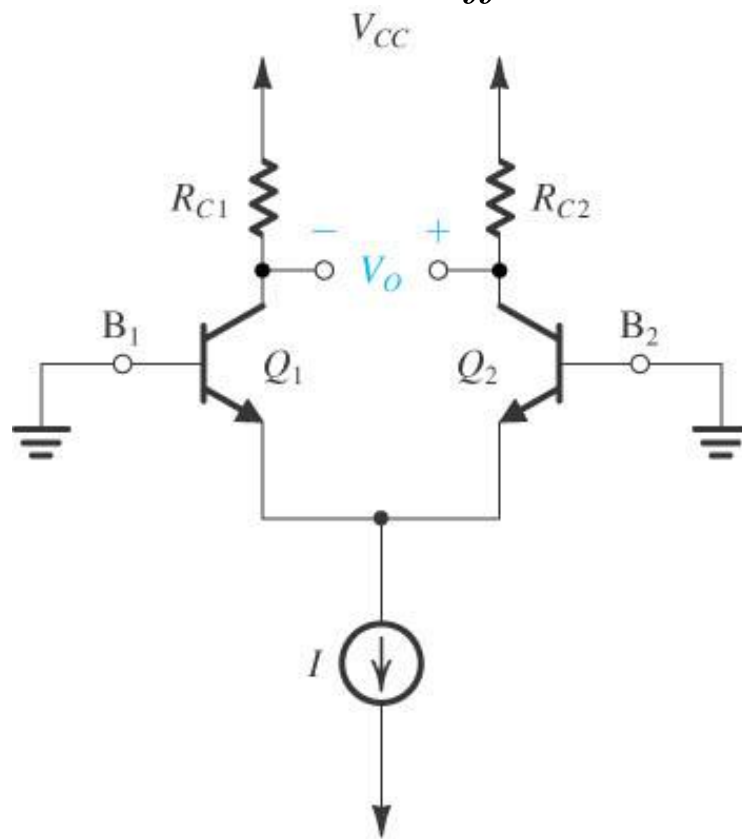
$$\Delta I_S \Rightarrow V_{OS} = V_T \frac{\Delta I_S}{I_S} \quad \Delta R_C \Rightarrow V_{OS} = V_T \frac{\Delta R_C}{R_C}$$

$$\Delta \beta \Rightarrow I_{OS} = I_B \frac{\Delta \beta}{\beta} \quad I_{OS} = |I_{B1} - I_{B2}|$$

$$\text{Tensão de offset de entrada} \Rightarrow V_{OS} = V_O / A_d$$

Amplificadores Diferenciais

Tensão de *offset* de entrada do Par Diferencial TBJ



Tensão de offset de entrada $\Rightarrow V_{OS} = V_O / A_d$

Amplificadores Diferenciais

Lógica Acoplada por Emissor - ECL

Par diferencial funcionando como chave de corrente

+

Gerador de Tensão de referência

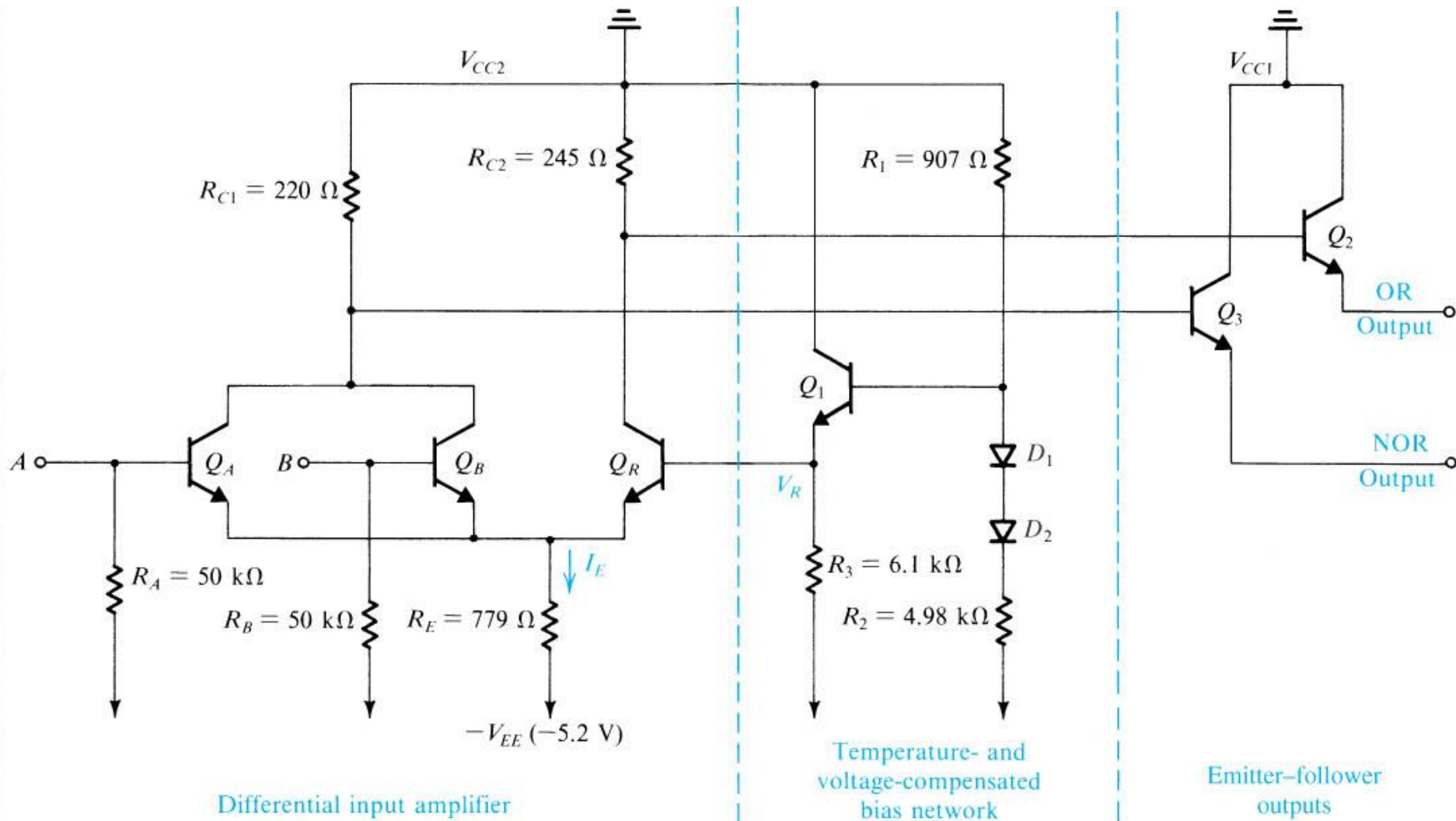
+

Buffer (seguidor de emissor)

Saída complementar!

Amplificadores Diferenciais

Lógica Acoplada por Emissor - ECL



Amplificadores Diferenciais

Ex. 1 – O amplificador diferencial TBJ da figura usa transistores com $\beta = 100$.

Encontre :

- a) A impedância diferencial de entrada R_{id} ;
- b) O ganho total (v_o/v_{sig}) (desconsidere o efeito *Early*);
- c) O ganho de modo comum quando a resistência de coletar variar 2%;
- d) A razão de rejeição de modo comum;
- e) A impedância de modo comum de entrada assumindo $V_A = 100$ V.

Amplificadores Diferenciais

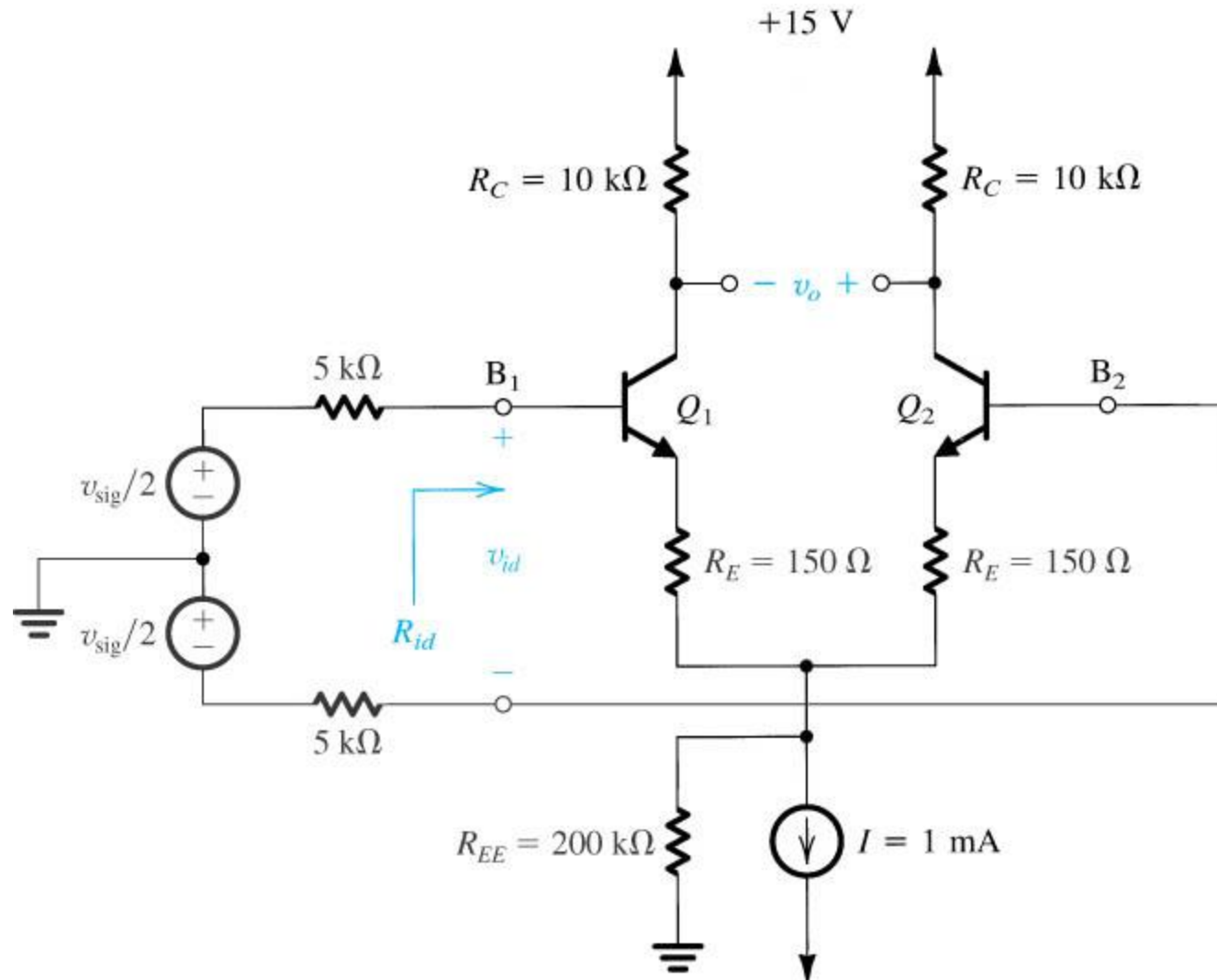


Figura do exercício 1 - Amplificador diferencial TBJ

Amplificadores Diferenciais

Sugestão de Estudo:

- Sedra & Smith 5ed.
 - Cap. 7, item 7.3
 - Cap. 7, item 7.4.2 e item 7.4.3
- Razavi. 2ed.
 - Cap. 10, item 10.2

Exercícios correspondentes.